



SISTEMAS INTEGRADOS DE GESTIÓN DE RESIDUOS PARA CERRAR EL CICLO DE LOS MATERIALES: ANÁLISIS METODOLÓGICO

Cobo, Selene; Domínguez-Ramos, Antonio; Irabien, Ángel

Grupo Desarrollo de Procesos Químicos y Control de Contaminantes, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación, Universidad de Cantabria, Avda. los Castros s/n, Santander, España, cobos@unican.es, domingueza@unican.es, irabienj@unican.es

Resumen

Al finalizar la vida útil de los productos, éstos son clasificados como Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y valorizados sólo en parte; la fracción restante permanece en el sistema de gestión de residuos o abandona la tecnosfera y se dispersa en el medio ambiente. Consecuentemente, la capacidad de suministro de materias primas disminuye progresivamente.

La transición a una economía circular que persigue transformar los residuos en recursos, y las políticas de prevención de residuos (PPR) contribuirán a maximizar la eficiencia del uso de recursos.

El objetivo del trabajo es desarrollar una metodología que permita: i) analizar el flujo de materiales en un Sistema Integrado de Gestión de Residuos sólidos urbanos de carácter Circular (SIGRC), ii) evaluar las cargas ambientales del sistema mediante Análisis de Ciclo de Vida (ACV), iii) investigar la influencia de las PPR en los resultados, con la finalidad de identificar los puntos del sistema en los que se pueden implementar posibles mejoras que contribuyan a maximizar la valorización de los RSU y minimizar las cargas ambientales y el consumo de recursos, facilitando la toma de decisiones en la etapa de diseño o retrofit de un SIGRC.

Para ello, se deben definir los límites de un SIGRC que conecte el procesamiento de los recursos naturales y el tratamiento de los residuos. Las características del ACV se deben ajustar a un sistema circular; se discutirá cómo abordar el modelado del sistema, la asignación de cargas y la definición de la unidad funcional.

Palabras clave: *análisis de sistemas, economía circular, análisis del flujo de materiales, análisis del ciclo de vida, prevención de residuos.*

1. Introducción

Los recursos naturales originados en otras eras geológicas, como los depósitos minerales, no pueden ser renovados en escalas de tiempo humanas, y por tanto sus reservas desaparecerán si el consumo se mantiene (Prior, Giurco, Mudd, Mason, & Behrisch, 2012; Shafiee & Topal, 2009). Por otra parte, los recursos naturales sujetos a ciclos biológicos (una población de árboles por ejemplo) proporcionan un flujo de bienes y servicios (madera o captura de CO₂) de forma continua (Costanza & Daly, 1992). Sin embargo, desde los años 70 algunos recursos naturales renovables son explotados más rápido de lo que pueden ser renovados (Borucke et al., 2013).

Dado que el consumo de recursos naturales está inevitablemente ligado a la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), la gestión combinada de residuos y recursos es clave para satisfacer las necesidades futuras de la sociedad de manera sostenible. Dos líneas de acción pueden contribuir a lograr este fin: la implementación de Políticas de Prevención de Residuos (PPR), como restringir la obsolescencia programada de los productos electrónicos o medidas tomadas en la fase de diseño de un

Memorias del VII Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos: hacia una Economía Circular
13–14 de junio de 2017, Santander, España

producto, como minimizar su peso; y la transición a una economía circular que persiga transformar los residuos en un recurso. En el contexto de la economía circular, al finalizar la vida útil de un producto, los materiales que lo componen son inyectados de nuevo en los procesos productivos como materias primas, incrementando la seguridad del suministro y promoviendo la preservación de los recursos naturales y la minimización de residuos y cargas ambientales (CE, 2015). Por ejemplo, la producción de aluminio a partir de chatarra consume menos del 5% de la energía necesaria para la producción de aluminio primario (JRC, 2014), lo cual implica que por cada tonelada de aluminio reciclado se evita la emisión de hasta 19 toneladas de CO₂ equivalente a la atmósfera (Damgaard, Larsen, & Christensen, 2009).

Conocidas las ventajas que ofrece la intensificación de la circularidad de los recursos, la cuestión que se plantea es cómo promover la transición a una economía circular. La respuesta se basa en el diseño de un Sistema Integrado de Gestión de Residuos sólidos urbanos de carácter Circular (SIGRC) que conecten el procesado de recursos con el tratamiento de residuos y permitan explotar al máximo el potencial de los RSU. Para ello, en la etapa previa al diseño de un SIGRC se debe llevar a cabo un análisis exhaustivo del sistema que facilite el proceso de toma de decisiones sobre su configuración.

El objetivo de este trabajo es proponer una metodología que permita abordar el diseño y la evaluación de un SIGRC centrado en la recuperación de materiales. Los objetivos específicos de dicha metodología son: i) analizar el flujo de los materiales en un SIGRC, ii) evaluar las cargas ambientales del sistema mediante Análisis del Ciclo de Vida (ACV), y iii) investigar la influencia de las PPR en los resultados, con la finalidad de identificar los puntos del sistema en los que se pueden implementar posibles mejoras que contribuyan a minimizar el consumo de recursos naturales. La evaluación de las implicaciones sociales y económicas de los SIGRC, aunque es de vital importancia, no se abordará en el presente trabajo.

2. Metodología

Para alcanzar la consecución de estos objetivos, en primer lugar, se definirán los límites y los subsistemas de un SIGRC, así como sus características, haciendo hincapié en los elementos que lo diferencian del típico Sistema Integrado de Gestión de Residuos sólidos urbanos (SIGR) de tipo lineal. A continuación, se discutirá cómo abordar el modelado de un SIGRC acoplando las herramientas de ACV y Análisis del Flujo de Materiales (AFM), la asignación de cargas ambientales y la definición de la unidad funcional. Esto se llevará a cabo de forma que las consecuencias de las PPR implementadas en la fase previa a la generación de los RSU sean adecuadamente cuantificadas y la composición de los diferentes flujos de materiales que interaccionan con el SIGRC determine los resultados del análisis llevado a cabo con la metodología propuesta.

3. Resultados y discusión

3.1 Definición de un SIGRC

Un SIGR es un sistema cuya principal entrada son los RSU y está compuesto por procesos cuya función es separar los RSU y proporcionar a cada fracción residual el tratamiento más apropiado de acuerdo con su composición química y los productos y servicios que se desean obtener del sistema (energía, materiales reciclados, compost).

Sin embargo, un SIGRC es un tipo de SIGR cuyo objetivo es favorecer el flujo circular de los recursos estableciendo un nexo entre la recuperación de recursos y la gestión de residuos. Por tanto, un SIGRC debería incluir un subsistema que conecte la transformación de las materias primas en RSU con los subsistemas de tratamiento de residuos, para que las consecuencias de la transformación de los materiales en ese subsistema puedan ser cuantificadas. Ese subsistema debería describir todo el sistema productivo en un periodo de tiempo y región determinados. Esta definición de un SIGRC intenta capturar el ciclo de vida completo de los materiales que componen los RSU, incluyendo las etapas

relativas al consumo y almacenamiento de productos en el sistema. Una vez consumidos, algunos productos como por ejemplo los residuos de cocina o los cosméticos abandonan el sistema como emisiones a la atmósfera o agua residual. Por otra parte, algunos productos como los textiles y los muebles proporcionan un servicio por un periodo de tiempo sin ser consumidos. Los subsistemas que componen un SIGRC se muestran en la Figura 1.

El propósito de un SIGRC es lograr la máxima rentabilidad económica y los máximos beneficios para la sociedad a expensas de las mínimas cargas ambientales. Para lograrlo, la máxima cantidad de RSU debe ser valorizada. Esto conlleva que la cantidad de RSU enviada a vertedero sea minimizada, aunque los vertederos no pueden ser totalmente reemplazados (Cossu, 2012) dado que todos los subsistemas generan residuos que las tecnologías actuales no pueden valorizar en su totalidad.

Un SIGRC que procese RSU debe tener capacidad para suministrar materiales, energía y nutrientes. Teóricamente también es posible producir ciertos productos químicos a partir de los RSU; el estudio de la viabilidad tecno-económica de estas iniciativas es una incipiente línea de investigación. En la actualidad solo se conoce una planta de este tipo que opere a gran escala: la compañía Enkema, la cual gasifica RSU para obtener metanol (Enkema, 2017).

3.2 Directrices propuestas

En el periodo de tiempo en el que un SIGRC es analizado, algunas fracciones residuales describen varios ciclos dentro del sistema; dependiendo del momento en el que el SIGRC es descrito, algunos materiales pueden formar parte del residuo o del producto. El modelado dinámico de un sistema de estas características es excesivamente complejo; por tanto, estas incongruencias solo pueden ser resueltas asumiendo sucesivos periodos de tiempo para cada uno de los cuales el SIGRC está descrito por un modelo en estado estacionario, en el cual las materias primas que entran al sistema y los flujos de residuos y productos son constantes, pero que pueden variar en cada periodo de tiempo. De acuerdo con esta metodología, los materiales deben ser cuantificados tanto como residuos como productos tantas veces como ciclos describan en el sistema en cada periodo de tiempo definido.

Las múltiples funciones de un SIGRC plantean el problema de cómo asignar los impactos ambientales del sistema a cada una de ellas. De acuerdo con los límites del sistema fijados en la Figura 1, las funciones que provee un SIGRC son: i) suministrar los bienes y servicios que la sociedad demanda, independientemente del origen de las materias primas, ii) explotar la máxima cantidad de RSU, bien fabricando nuevos productos o recuperando su energía, con el objetivo final de minimizar el consumo de recursos naturales.

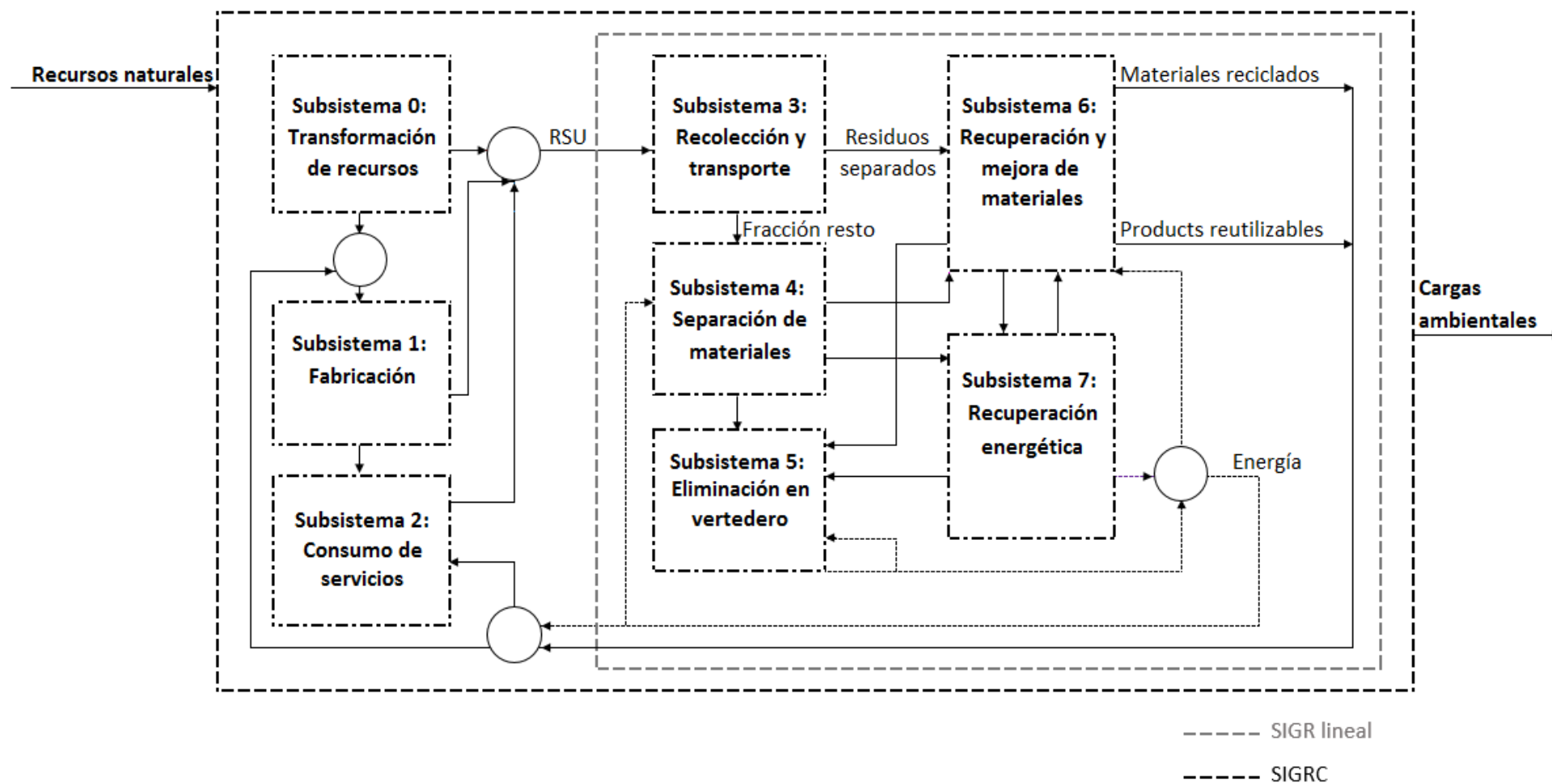


Figura 1. Estructura de un SIGRC

La mayoría de los estudios que analizan SIGR aplican el método de sustitución directa para resolver el problema de multi-funcionalidad; consideran que el principal objetivo del sistema es tratar el residuo, y expanden los límites del sistema para incluir en el mismo las funciones secundarias relativas a los productos y servicios suministrados por sistemas alternativos, para a continuación substraer sus CA de los del sistema original. Sin embargo, un SIGRC no opera bajo la premisa de que el residuo necesita ser tratado para minimizar sus cargas ambientales, sino valorizado para reducir el consumo de recursos naturales; es decir, la principal función de un SIGRC es la explotación del residuo. Por tanto, el enfoque habitualmente empleado en los SIGR para resolver el problema de multi-funcionalidad no puede ser aplicado a un SIGRC.

Los métodos más adecuados para resolver el problema de multi-funcionalidad en un SIGRC son la comparación de sistemas alternativos que suministren las mismas funciones aplicando el enfoque consecuencial, y la asignación de cargas (enfoque atribucional). La masa del residuo podría ser considerada como un indicador de su potencial antes de ser transformado de nuevo en productos o suministre algún servicio. Por tanto, la masa del residuo es el parámetro físico más adecuado para llevar a cabo la asignación de las cargas ambientales de un SIGRC en caso de aplicar un enfoque atribucional.

En el contexto de un SIGRC, los RSU son un sustituto de las materias primas; si la cantidad de energía, materiales y productos derivados de los RSU que entra en el subsistema 0 aumenta, las materias primas que entran al sistema deben disminuir para mantener el flujo de productos y servicios constante. Consecuentemente, el factor de asignación (FA) de las cargas ambientales del sistema a la función primaria se ha definido como el ratio entre la masa de los RSU que es valorizada en los subsistemas 6 y 7 (RSU_{6,7}), y la suma de la masa de las materias primas (MP) que entran al sistema y los RSU valorizados, como se muestra en la ecuación 1.

$$FA = \frac{RSU_{6,7}}{MP + RSU_{6,7}} \quad (1)$$

En cuanto a la unidad funcional, debe describir el desempeño del sistema en términos de su función primaria; debería expresarse en función de la masa para mantener la consistencia con la elección del enfoque de asignación de cargas. Por tanto, se propone emplear la masa de materias primas que entra al SIGRC como unidad funcional. Además, si se desea cuantificar los efectos de las PPR, la cantidad de materias primas prevenidas como consecuencia de las PPR también debería ser incluida en la definición de la unidad funcional, de forma que escenarios con y sin PPR puedan ser comparados.

Consecuentemente, se define la unidad funcional de un SIGRC como la suma de las materias primas que entran al sistema en el periodo de tiempo y la región seleccionados y las materias primas que habrían sido consumidas si las PPR no hubiesen sido implementadas.

4. Conclusiones

Las herramientas de ACV y AFM pueden ofrecer una visión completa del ciclo de vida de cada una de las fracciones residuales que componen los RSU si se aplican a un SIGRC que incluya un subsistema que describe la transformación de las materias primas en RSU. La dificultad de aplicar este enfoque radica en la descripción de dicha etapa, que incrementará la complejidad del modelo.

Agradecimientos

S.C. agradece la financiación del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte a través del contrato FPU código FPU15/01771.

Referencias

- Borucke, M.; Moore, D.; Cranston, G.; Gracey, K.; Iha, K.; Larson, J.; Lazarus, E.; Morales, J.C.; Wackernagel, M.; Galli, A. (2013). Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: The National Footprint Accounts' underlying methodology and framework. *Ecol. Indic.*, 24, 518-533.
- CE – Comisión Europea. (2015). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social committee and the committee of the regions. Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy.
- Cossu, R. (2012). The environmentally sustainable geological repository: The modern role of landfilling. *Waste Manage.*, 32 (2), 243-244.
- Costanza, R.; Daly, H.E. (1992). Natural Capital and Sustainable Development. *Conserv. Biol.*, 6 (1), 37-46.
- Damgaard, A.; Larsen, A.W.; Christensen, T.H. (2009). Recycling of metals: Accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Manage. Res.*, 27(8), 773-780.
- Enerkem Alberta biofuels; www.enerkem.com/facilities/enerkem-alberta-biofuels/. [Último acceso: 10/01/2017].
- JRC – Joint Research Centre. (2014). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Non-Ferrous Metals Industries*; http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/NFM_Final_Draft_10_2014.pdf.
- Prior, T.; Giurco, D.; Mudd, G.; Mason, L.; Behrisch, J. (2012). Resource depletion, peak minerals and the implications for sustainable resource management. *Global Environ. Change*, 22 (3), 577-587.
- Shafiee, S.; Topal, E. (2009). When will fossil fuel reserves be diminished?. *Energy Policy*, 37 (1), 181-189.